

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕРЖНЕВЫХ ВОЛН ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ СТАЛЬНЫХ ПРОВОЛОК

Исследованы влияние режима термической обработки и растягивающих нагрузок на информативные параметры стержневых волн в тонких металлических проволоках.

Ключевые слова: стержневые волны, электромагнито-акустическое преобразование, акустоупругие коэффициенты, скорость звука.

Наиболее информативными при контроле тонкой стальной проволоки являются акустические методы, обладающие широкими возможностями. Расширение возможностей акустической структуроскопии связано с бесконтактным электромагнитно-акустическим (ЭМА) способом ввода и приема волн.

При проектировании средств структуроскопии пружинной проволоки необходимо учитывать искажения акустического сигнала при его распространении. Уменьшение групповой скорости стержневой волны в результате дисперсии в модельной стальной проволоке диаметром $d = 0,5$ мм, начальной скоростью распространения нулевой моды $C_{s0}^g = 5337$ м/с показано на рис. 1.

В области низких частот дисперсия минимальна, с увеличением частоты скорость C_{s0}^g значительно падает. Зависимость коэффициента затухания стержневой волны δ в модельной стальной проволоке диаметром $d = 0,5$ мм представлена на рис. 2.

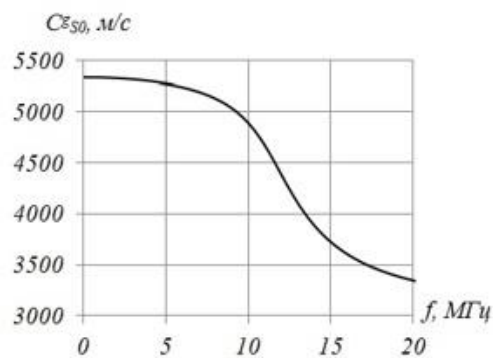


Рис. 1. Дисперсия групповой скорости моды S_0 в проволоке

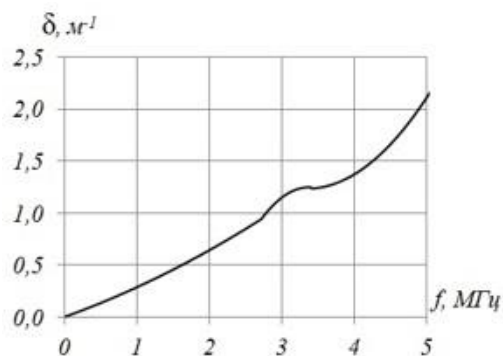


Рис. 2. Затухание в проволоке

Результаты моделирования акустического тракта проволоки показывают, что с ростом пройденного расстояния амплитуда принятого импульса уменьшается за счет затухания стержневой волны в материале объекта, длительность импульса увеличивается, добавляется высокочастотная составляющая (рис. 3). Также с ростом частоты увеличивается искажение фазы сигнала.

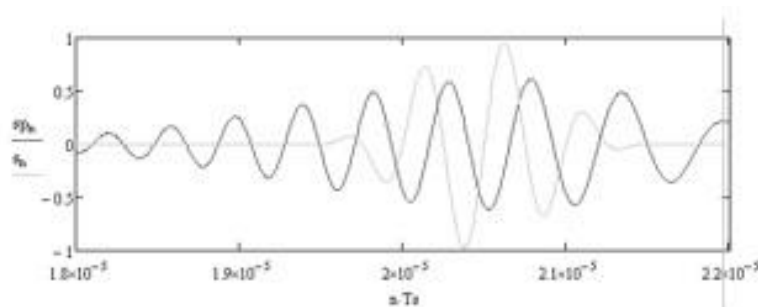


Рис. 3. Исходный импульс стержневой волны в проволоке и принятый импульс с учетом дисперсии на частоте $f = 2,0$ МГц и пройденном расстоянии $r = 3,0$ м

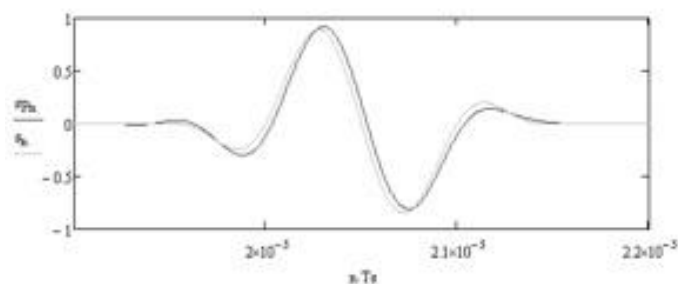


Рис. 4. Исходный импульс стержневой волны в проволоке и принятый импульс с учетом дисперсии на частоте $f = 1,0$ МГц и пройденном расстоянии $r = 0,25$ м

Полученные данные дают обоснование для выбора основных технических характеристик при проектировании средств структуроскопии проволоки: длина базы прозвучивания выбрана в размере 0,25 м, рабочая частота 1 МГц (рис. 4).

Процесс распространения стержневых волн исследовался в термически обработанных проволоках в зависимости от внешних механических напряжений. В экспериментах использовалась установка, описанная в [1].

В качестве исследуемых образцов были выбраны холодноотянутые проволоки с высокой степенью наклепа разных диаметров – $\varnothing 0,4$ мм из пружинной стали 65Г (ГОСТ 11850-72), $\varnothing 0,5$ мм из инструментальной стали У9А (ГОСТ 9389-75), $\varnothing 0,3$ мм из сплава викаллой (сплав 52К12Ф, ГОСТ 10994-74).

На рис. 5 представлены результаты исследований влияния растягивающих механических напряжений на скорость стержневой волны в образцах, находящихся в состоянии поставки. Кривые проноормированы к скорости стержневой волны C_0 в ненагруженном состоянии. Имеющий место разброс в результатах измерений обусловлен в первую очередь неравномерностью механических свойств, исследуемых образцов проволок в мотке.

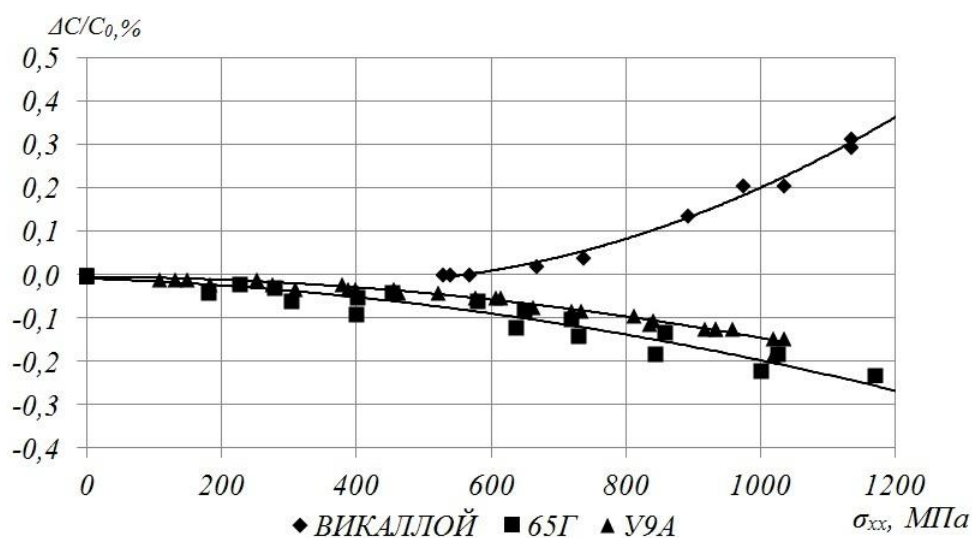


Рис. 5. Относительное изменение скорости стержневой волны от растягивающих напряжений в образцах металлических проволок

Для проволок в состоянии поставки при увеличении растягивающих механических напряжений наблюдается возрастание скорости стержневой волны для сплава викаллой и уменьшение скорости для сталей 65Г и У9А. Наибольшая нелинейность в изменении скорости стержневой волны наблюдается для образцов из сплава викаллой. Высокие внутренние напряжения I-го и II-го рода препятствуют прикладываемым внешним механическим напряжениям, что ведет к незначительному изменению скорости $\Delta C/C_0$ (низким значениям коэффициентов акустоупругости), и минимальному абсолютному значению скорости.

На рис. 6 представлены зависимости изменения скорости стержневой волны от растягивающих нагрузок при различных температурах термической обработки для образцов из стали 65Г (а), У9А (б). С ростом температуры термообработки наблюдается уменьшение скорости стержневой волны. Наиболее резкие изменения соответствуют температуре высокого отжига ($t = 800$ °С и выше). Так, при нагрузке $\sigma = 500$ МПа в образце из стали 65Г, отожженном при $t = 400$ °С, относительное уменьшение скорости $\Delta C/C_0$ составляет 0,1 %, при $t = 800$ °С $\Delta C/C_0 = 0,7$ %.

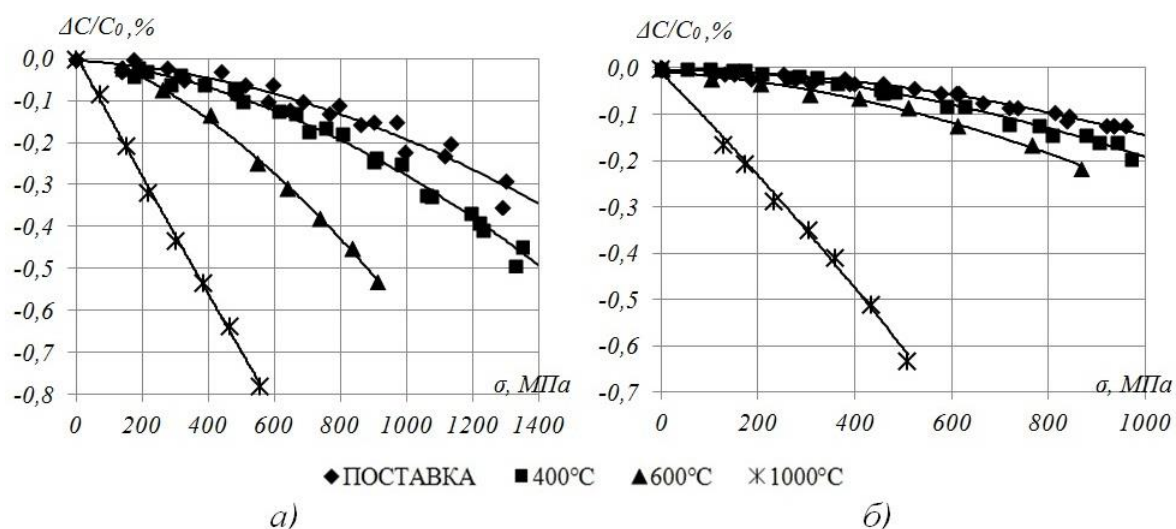


Рис. 6. Относительное изменение скорости стержневой волны от растягивающих напряжений в проволоках из сталей 65Г – а и У9А – б

Видно, что характер полученных зависимостей для образцов после отжига существенно меняется в интервале температур 600–800 °С, а вне указанного интервала приближается к линейному, при этом наблюдается значительное увеличение акустоупругого коэффициента, особенно в стальных проволоках.

Можно полагать, что при низкотемпературном отжиге (возврате и полигонизации) (200 и 400 °С) уменьшаются напряжения как I-го рода, так и II-го рода, при этом образцы в состоянии поставки и при низких температурах отпуска характеризуются несущественным различием в характере зависимостей изменения скорости от внешних механических напряжений. При рекристаллизационном отжиге внутренние напряжения снимаются полностью и не препятствуют процессу внешнего нагружения, при этом наблюдается максимальное изменение по скорости $\Delta C/C_0$, значение абсолютной скорости также имеет максимальное значение.

Работа выполнялась в рамках задания № ГШ-2-14 на проведение НИР в рамках мероприятия 3.1.2 «Организация и проведение конкурсов в образовательной и научно-исследовательской деятельности для аспирантов и молодых научно-педагогических работников вуза» Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «ИжГТУ им. М. Т. Калашникова» на 2012–2016 гг.

Литература

1. Исследования акустоупругих характеристик стержневой волны в термически обработанных стальных проволоках электромагнитно-акустическим методом / Муравьев В. В., Муравьева О. В., Платунов А. В., Злобин Д. В. // Дефектоскопия. 2012. № 8. С. 3–15.